

Innovative DLR-Technologie zum Kühlen und Heizen in H2- Fahrzeugen

Digital Campus Zollverein – H2|120H
DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte
Essen, den 01.10.2020

Markus Kordel
0711 6862 8165
markus.kordel@dlr.de

A large, curved image of the Earth from space, showing the blue oceans, white clouds, and green landmasses of Europe and Africa.

Wissen für Morgen

Brennstoffzellentechnologie

Was dem Wunderantrieb Wasserstoff zum Durchbruch fehlt

Autos mit Brennstoffzelle sind rar, die Produktion des nötigen Wasserstoffs kompliziert. Dabei könnte er den Verkehr revolutionieren - zu Land, zu Wasser, in der Luft. Viel fehlt den Forschern dazu nicht mehr.

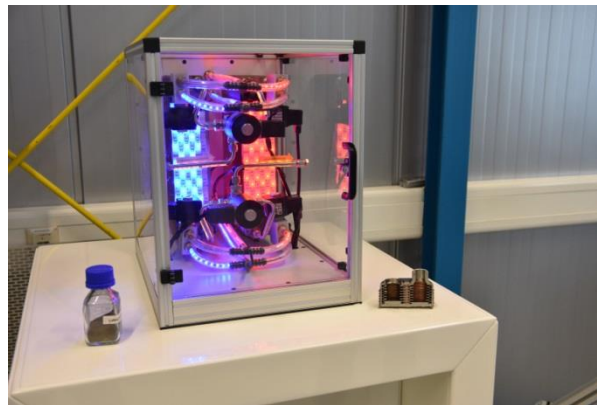
Von **Christian Frahm**
23.03.2020, 07:23 Uhr

Kälte, Kühlung, Klimaschutz Neue Chancen für die Umwelt

Weltweit laufen rund 3,5 Milliarden Kältemaschinen. Bringt man die Energieverschwender auf den neuesten Stand, sinkt ihr Strombedarf um bis zu 30 Prozent.

28 min | 01.12.2019

Kälte mit Wasserstoff ?



Inhalt

1. Motivation

2. Funktionsweise
Metallhydridkältemaschine

3. Laboranlage

4. Fahrzeugintegration



1. Motivation im Verkehrssektor

- Bei Elektrofahrzeugen (EVs) werden für die Kabinenklimatisierung elektrisch betriebene Systeme eingesetzt (z.B. Klimakompressor und PTC-Heizer)

➔ **Reichweitenreduktion**

- F-Gas Verordnung:
 - Reduktion auf 20 % des gesamten „Global Warming Potential“ (GWP) der teilfluorierten Kohlenwasserstoffe bis 2030
 - Inverkehrbringungsverbote (GWP > 150 ab 2022) z.B. R134a
- Sicherheit: z.B. R1234yf ist extrem entzündlich

1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration



Driving range and time Mitsubishi i-MiEV (ÖAMTC / ADAC)

European Union



Directive
2006/40/EC

EU F-Gas Regulation



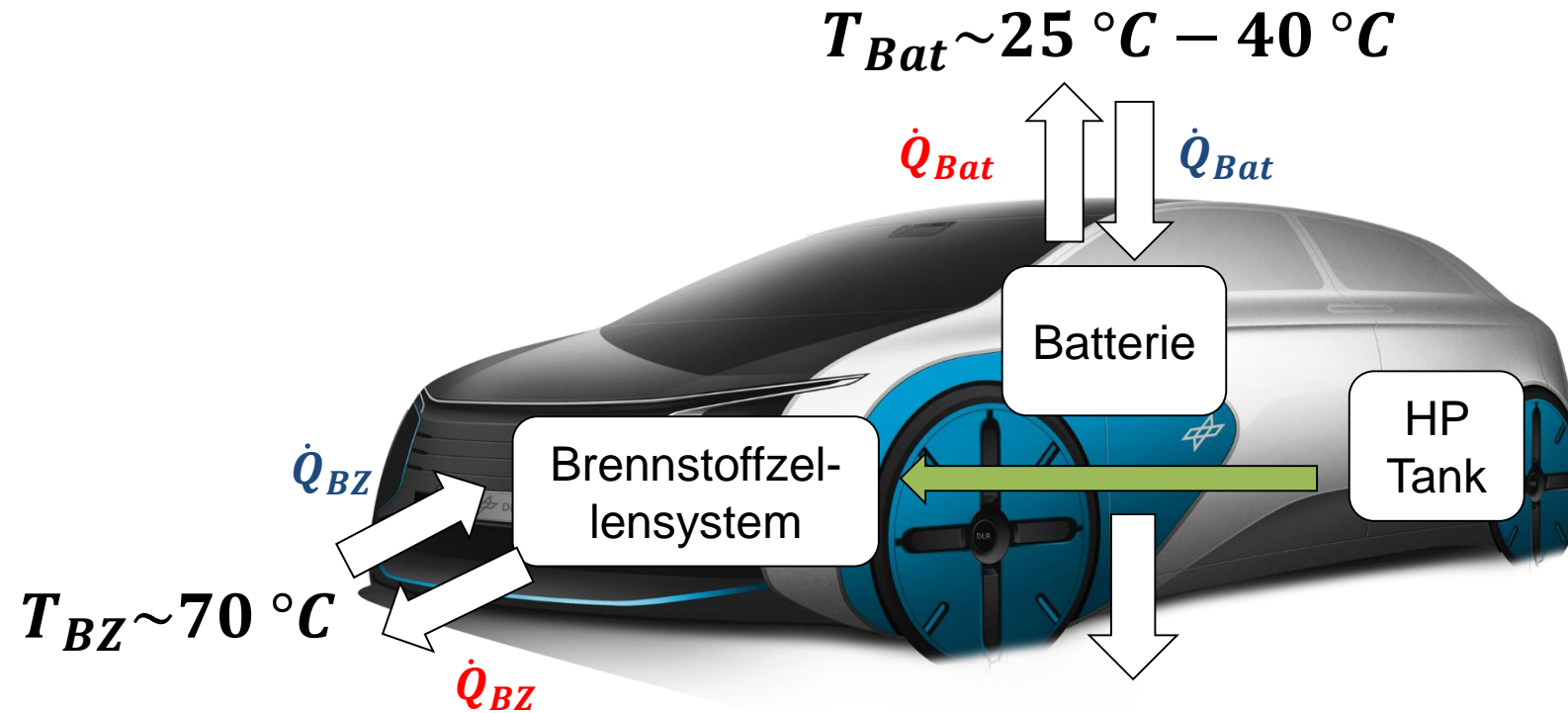
1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration

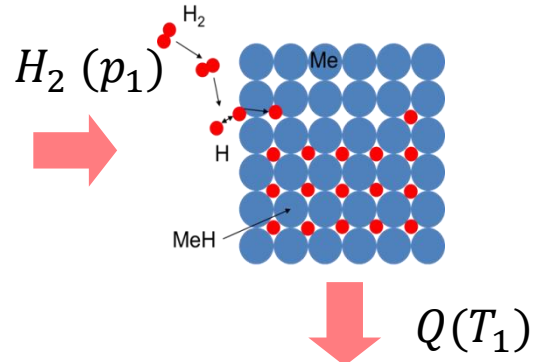
1. Ungenutzte Energie im Brennstoffzellenfahrzeug



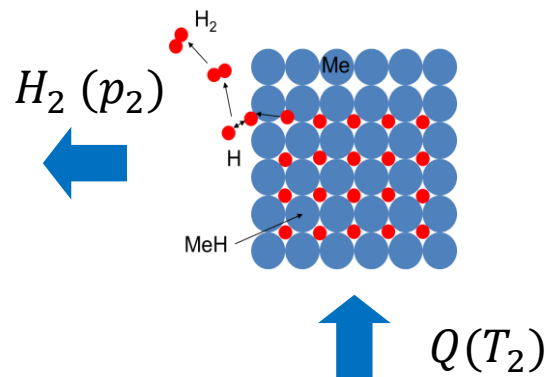
$$P_{pot}(\dot{m}_{H_2}, \frac{p_{Tank}}{p_{BZ}} = \frac{700\text{ bar}}{5\text{ bar}}) \quad \boxed{\frac{W_{Komp.}}{W_{Chem.}} = 15\%}$$

2. Metallhydride

Absorption:

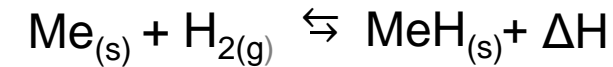


Desorption:



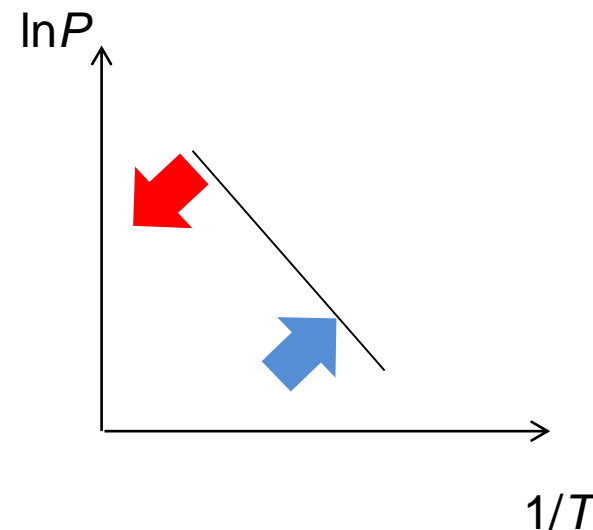
- Reversible Gas-Feststoff-Reaktion:

endotherm



exotherm

- Gleichgewichtstemperatur abhängig vom Wasserstoffdruck:



$$\ln \left(\frac{p_{GG}}{p_0} \right) = \frac{\Delta H_{abs/des}}{R \cdot T_{GG}} + \frac{\Delta S_{abs/des}}{R}$$

$$\dot{Q}_{abs/des} = \frac{\dot{m}_{H_2}}{M_{H_2}} \cdot \Delta H_{abs/des}$$

2. Gesamtanlage

Wasserstoffbasierte Druckwechsel-Absorptionskältemaschine

- Integration von Metallhydridreaktoren zwischen Drucktank und Brennstoffzelle
- Bereitstellung von Strom, Wärme und Kälte
- Vorteile einer MH-Kältemaschine
 - Als Kältemaschine oder Wärmepumpe einsetzbar
 - Nutzung von Druckenergie
 - Wasserstoff nicht klimaschädlich
 - Wasserstoff wird nicht verbraucht

Drucktank



1. Motivation

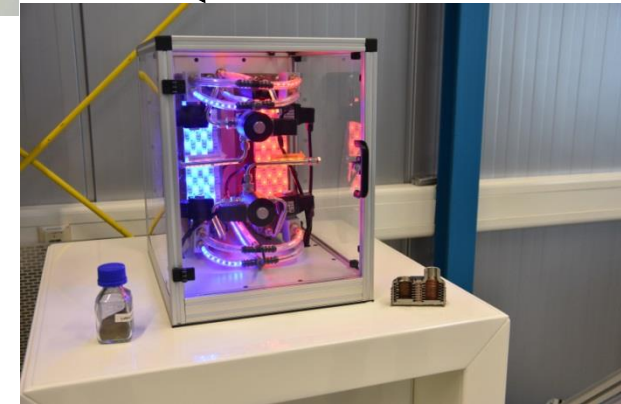
3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration

H₂

MH-Kältemaschine



Kühlen

Heizen

Strom

H₂

H₂



Brennstoffzelle

1. Motivation

3. Laboranlage

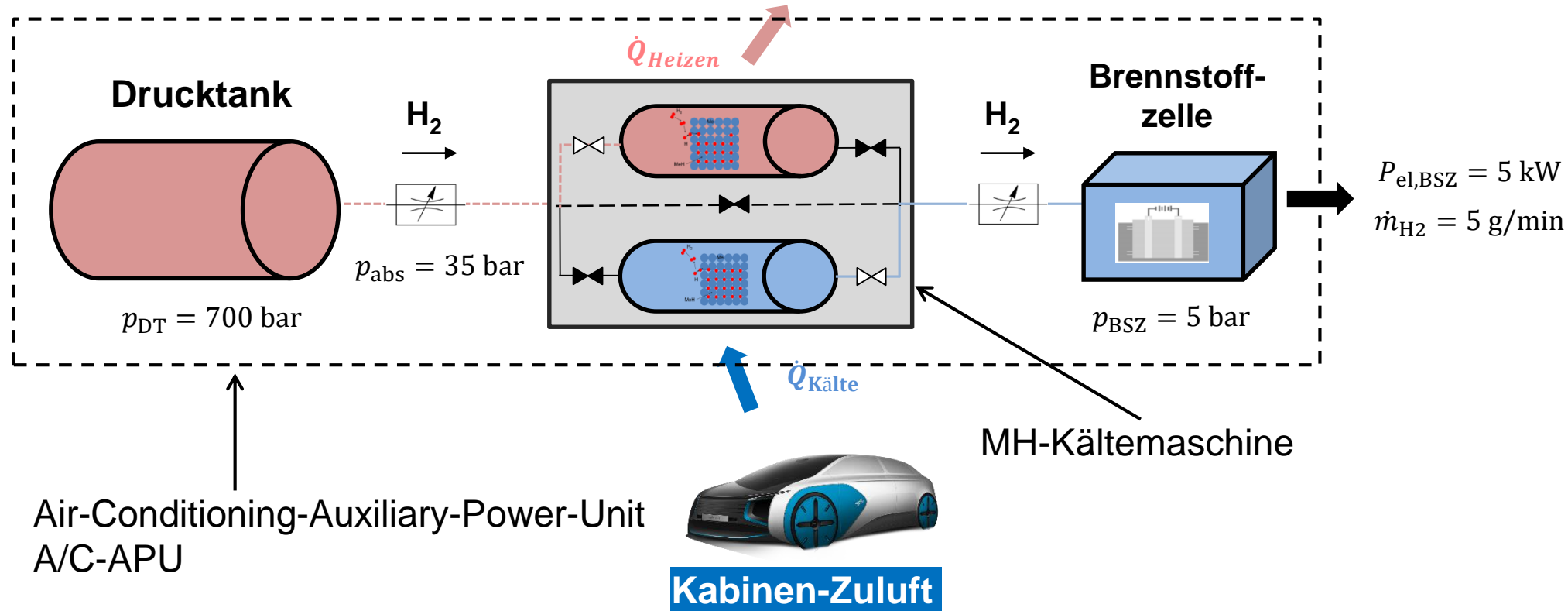
2. Funktionsweise

4. Integration

2. Systemkomponenten und Reaktorbetrieb



Umgebung



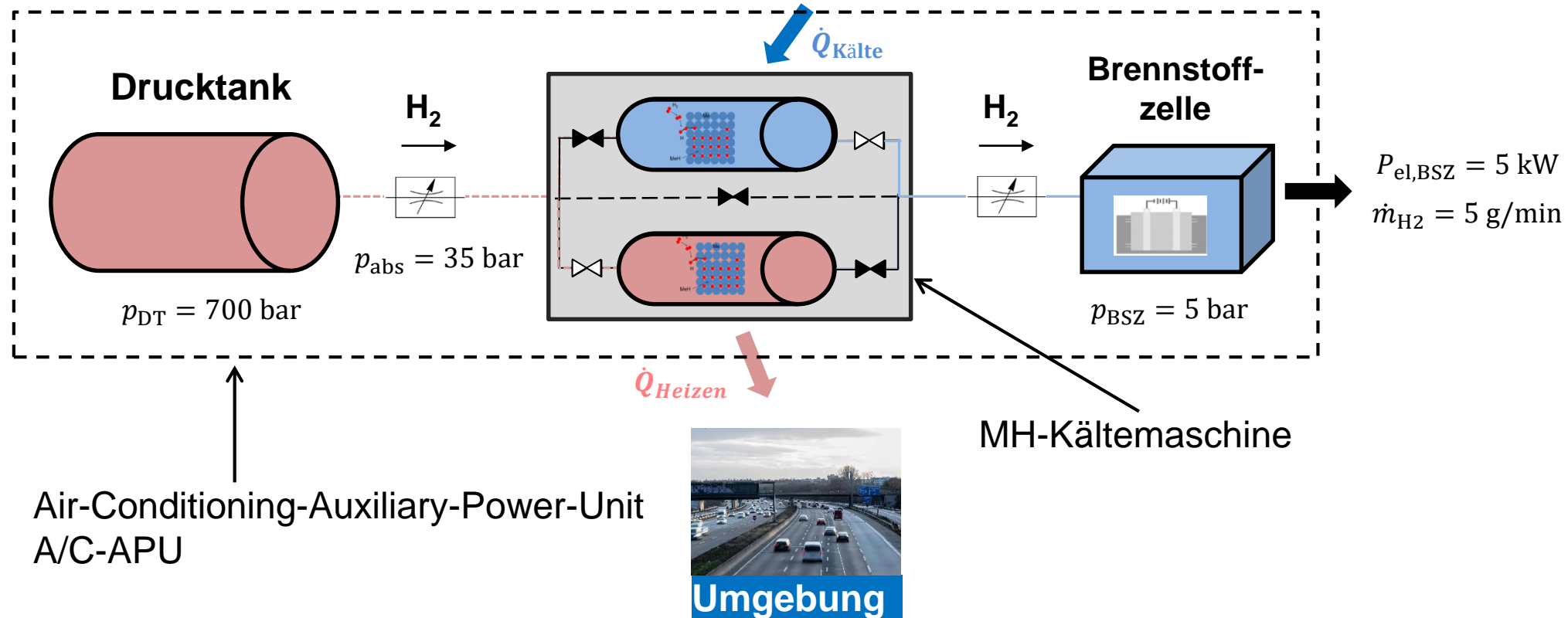
1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration

2. Systemkomponenten und Reaktorbetrieb

**Kabinen-Zuluft**

1. Motivation

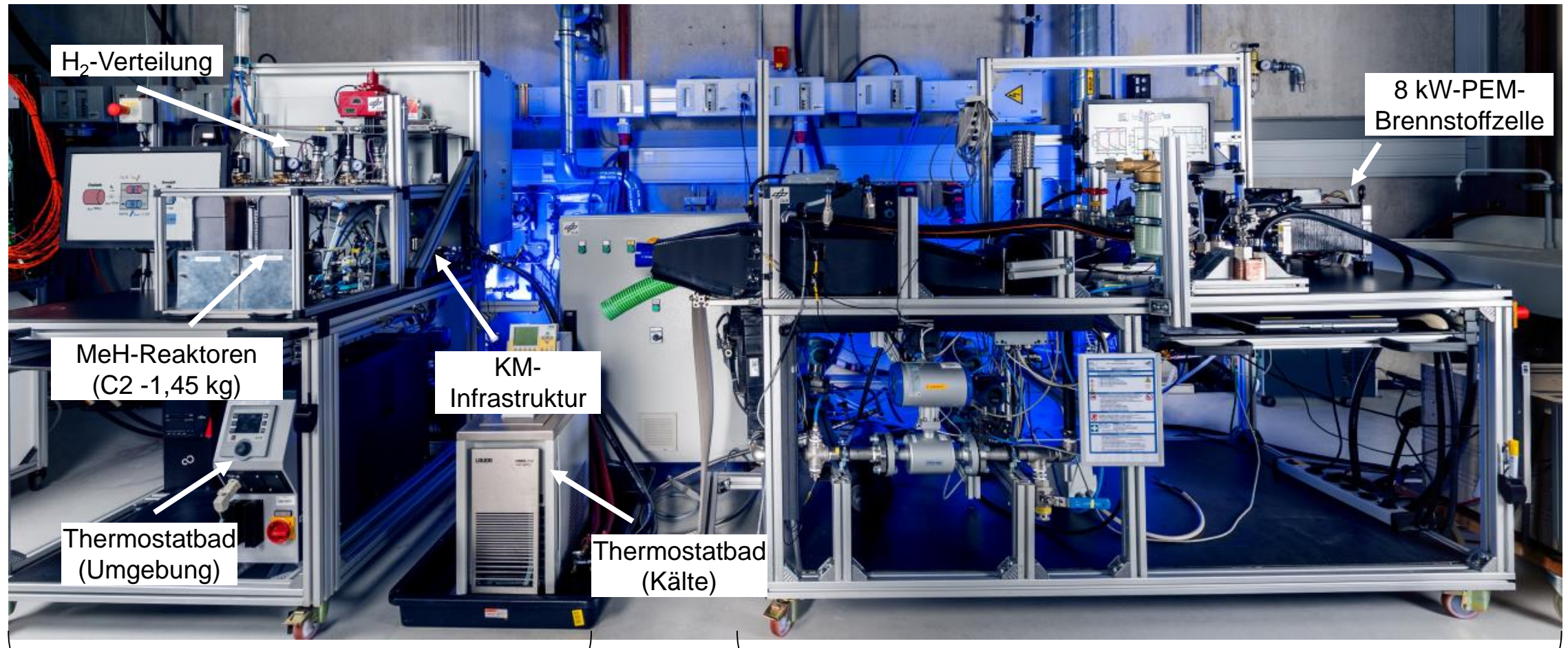
3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration

3. Experimenteller Aufbau

Abbildung des Fahrzeug-Energiesystems



MH-Teststand

BSZ-Teststand

3. Experimenteller Aufbau

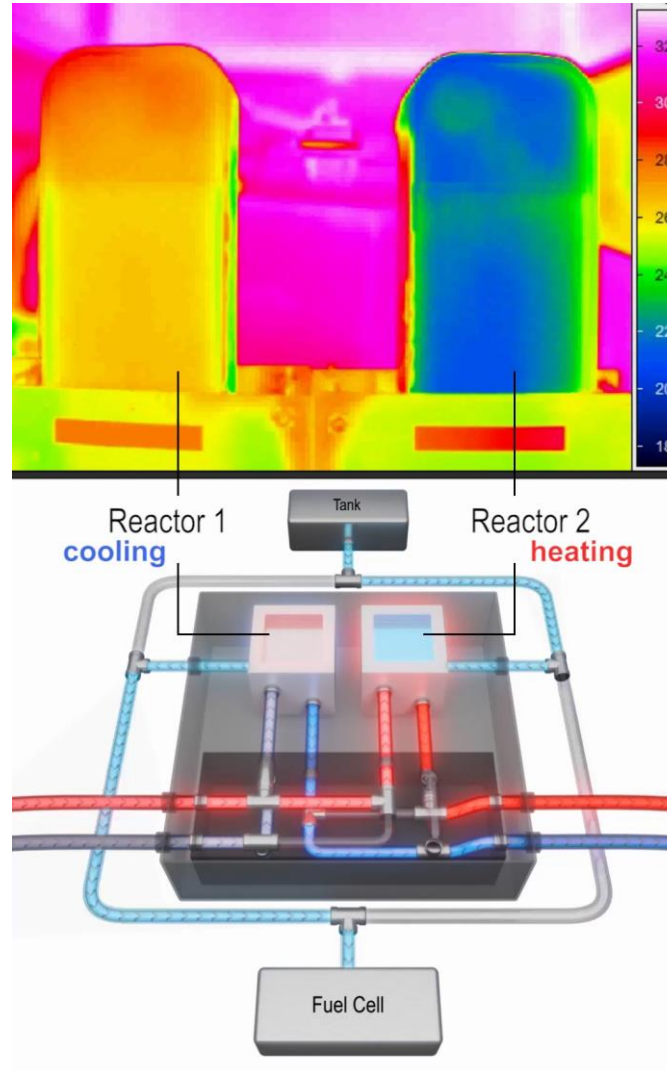
Im Betrieb

1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration



3. Ergebnisse der Laboranlage

Kühlleistung

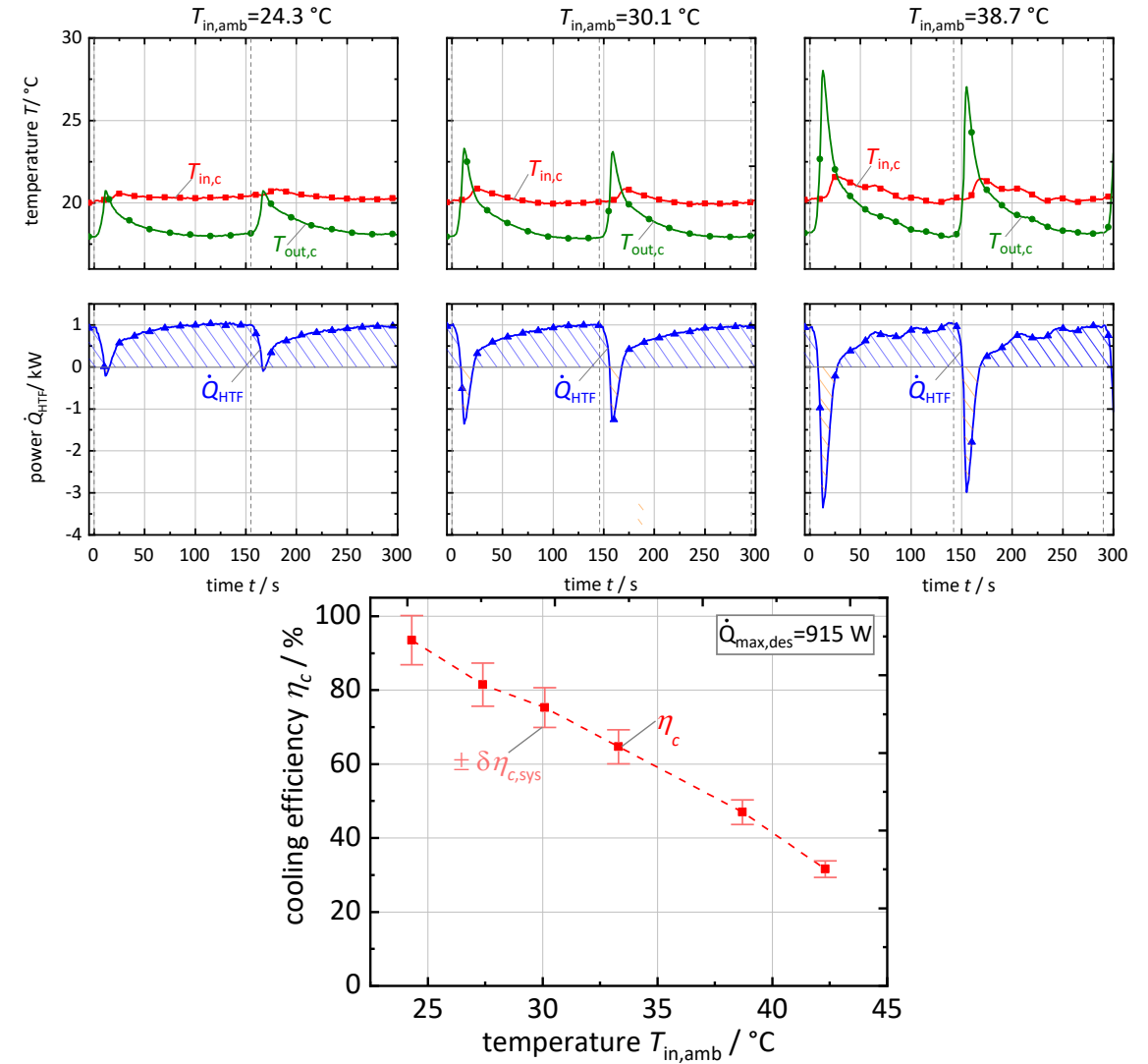
- Randbedingungen: $T_{\text{ein,kalt}}=20^{\circ}\text{C}$,
 $T_{\text{ein,warm}}=24,3^{\circ}\text{C} - 38,7^{\circ}\text{C}$
- Maximale Kühlleistung aus Experiment: 915 W bei
 $T_{\text{ein,warm}}=24,3^{\circ}\text{C}$ und $P_{\text{el}} = 5 \text{ kW}$
- $\frac{\dot{Q}_{\text{max,des}}}{P_{\text{el}}} = 18.3\%$

1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration



1. Motivation

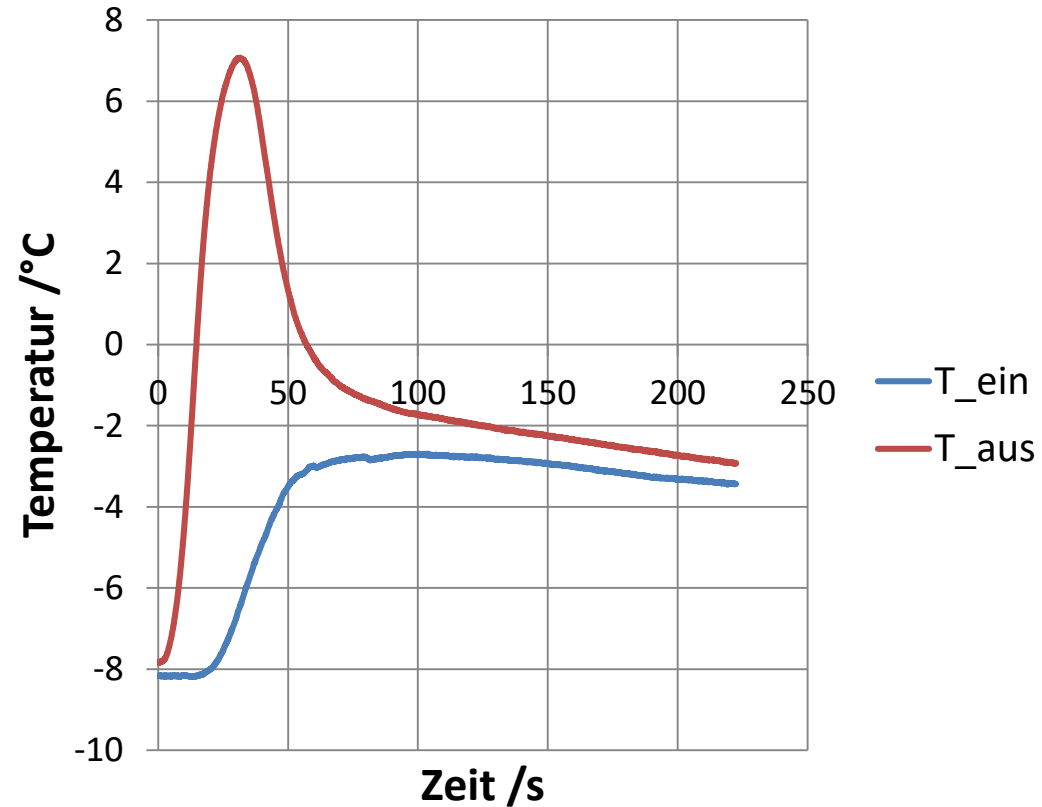
3. Laboranlage

2. Funktionsweise

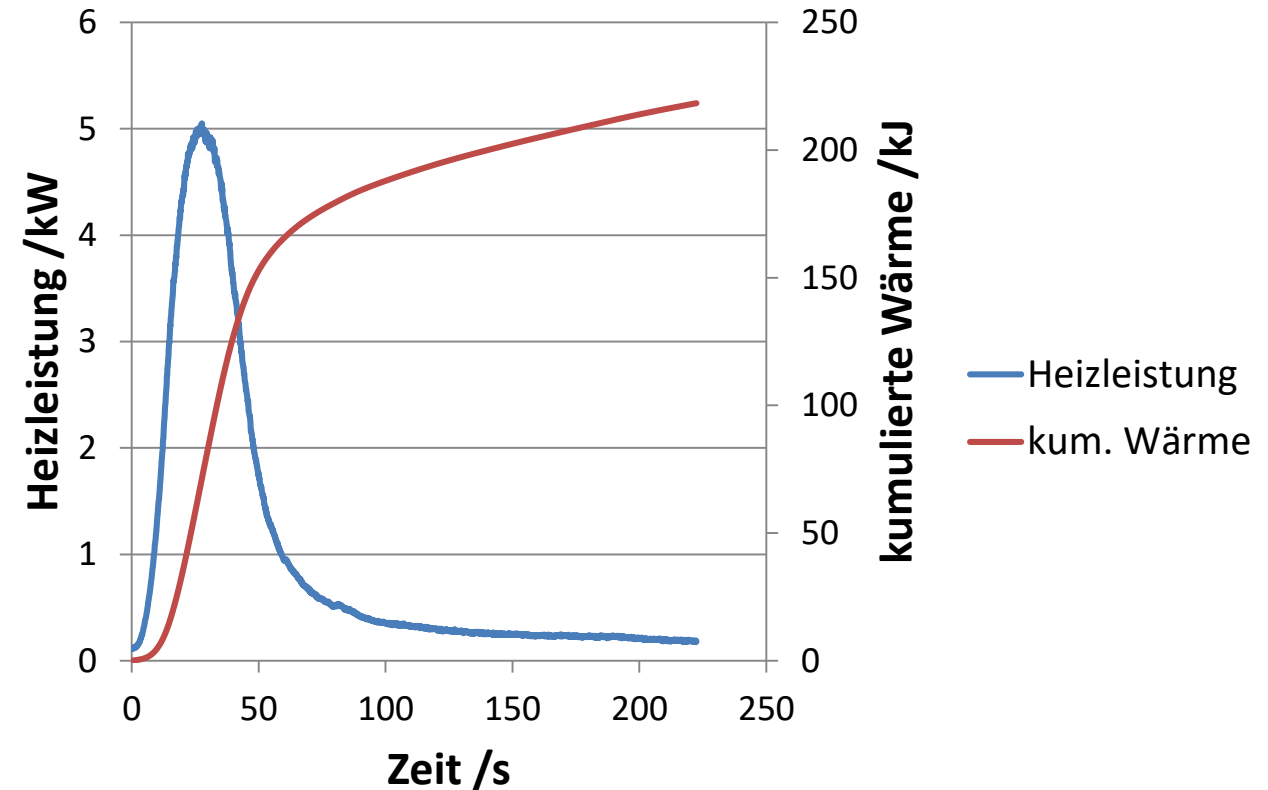
4. Integration

3. Ergebnisse der Laboranlage

Kaltstartverhalten: Einzelreaktor bei $T_U = -8^\circ\text{C}$



- Temperaturanstieg um 15 K (ein Reaktor)
- Sinkt anschließend aufgrund von Thermostatbad



- Bis zu 5 kW Heizleistung innerhalb von 30 s
- Mittelwert für 60 s: 2,8 kW



1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration

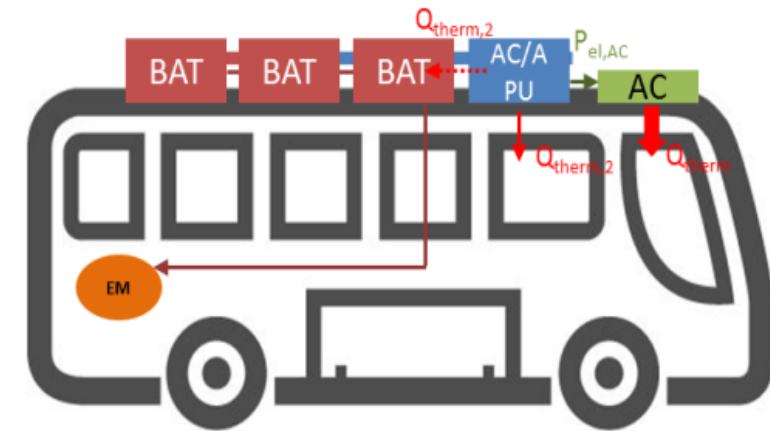
4. Integration in ein Fahrzeug

Nachrüstsystem für batterieelektrische Busse oder dieselmotorische Nutzfahrzeuge

- Batterie/ Dieselmotor für Traktion
- BZ versorgt Kältemaschine
 - Autarkes System
 - Konstante BZ-Last
 - Kein Dieselmotor im Standbetrieb
- Erhöhung der Marktdurchdringung von BZ

Zukünftige Integration für BZ-Busse und -Nutzfahrzeuge

- BZ versorgt E-Motor
- Integration der H₂-A/C in vorhandenen Wasserstoffpfad
- Keine Kältemaschine mehr notwendig



4. Ausführung als autarker Range Extender

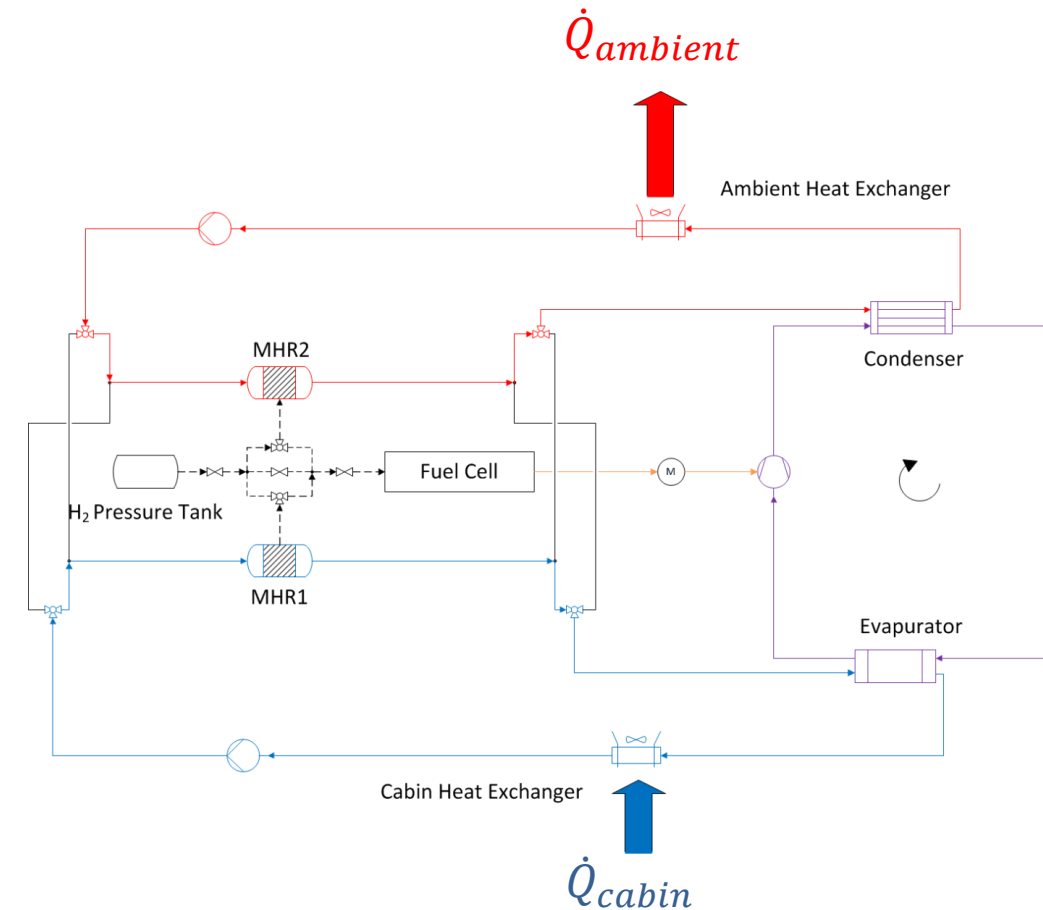
- Autarkes System aus Wasserstofftank, MH-Kältemaschine, Brennstoffzellensystem und konventionelle Kompressionskältemaschine
- Elektrische Reichweite entkoppelt von Klimatisierung
- Nachrüstsystem ist unabhängig vom Antriebsstrang des Fahrzeuges
- MH-Kältemaschine steigert die Effizienz des Gesamtsystems und erlaubt kleinere Tanks
- Klimatisierung kann lokal CO₂ frei sichergestellt werden

1. Motivation

3. Laboranlage

2. Funktionsweise

4. Integration



Literaturverzeichnis

Weckerle C, Dörr M., Bürger I, Linder M., „Experimental demonstration of a metal hydride air-conditioning system for fuel cell vehicles - Functional demonstration”. Appl Energy, vol. 259, pp. 114187-201, 2020.

Weckerle C, Dörr M., Linder M, Bürger I, „A compact thermally driven cooling system based on metal hydrides”. Energies, vol. 13(10), pp. 2482-505, 2020

Hegner, R., Weckerle, C., Klimatisierungsaggregat auf Metallhydridbasis für Elektrofahrzeuge mit Batterie oder Brennstoffzelle. ATZ Automobiltech Z 122, pp. 82–86, 2020.

Frahm, C. (23.03.2020), Was dem Wunderantrieb Wasserstoff zum Durchbruch fehlt.
„<https://www.spiegel.de/auto/wasserstoff-wie-die-brennstoffzelle-die-weltweite-mobilitaet-veraendert-a-268d3939-b0ab-43ca-af01-a32bc130f19c>“ (aufg. 24.09.2020)

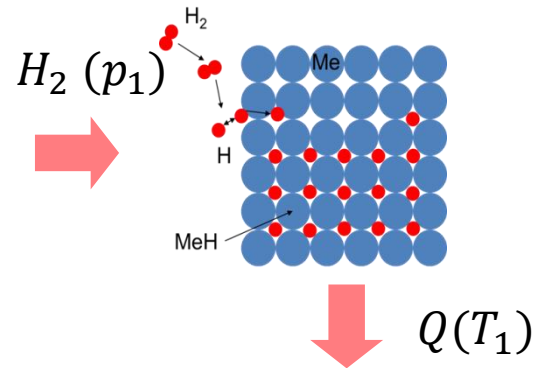
Bondy Á. (01.12.2019), Kälte, Kühlung, Klimaschutz. „<https://www.zdf.de/dokumentation/planet-e/planet-e-kaelte-kuehlung-klimaschutz-100.html>“ (aufg. 24.09.2020)



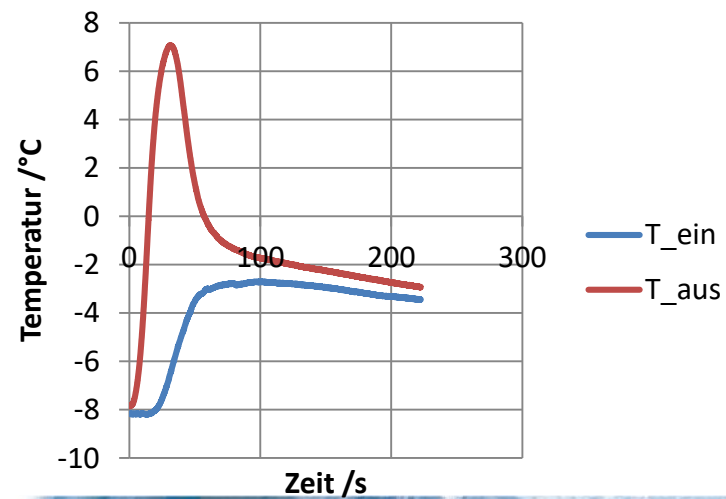
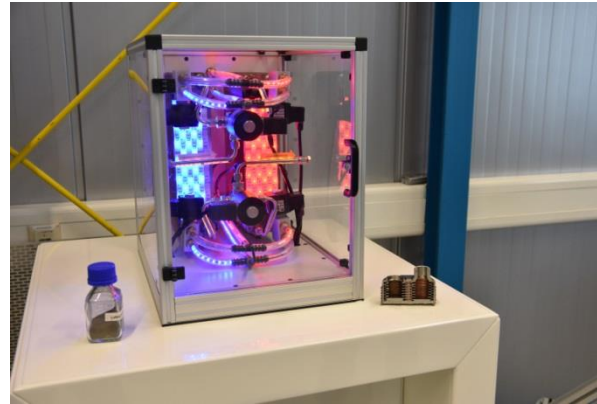
Zusammenfassung und Ausblick

Aktueller Stand

Theorie



Proof of Concept



Ausblick

Fahrzeugintegration

